



⑬ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 195 01 332 A 1**

⑤ Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**H 01 B 12/16**  
H 01 B 11/18  
H 01 B 7/34  
F 25 D 31/00

⑲ Aktenzeichen: 195 01 332.8  
⑳ Anmeldetag: 18. 1. 95  
㉑ Offenlegungstag: 25. 7. 98

DE 195 01 332 A 1

㉒ Anmelder:  
Alcatel Kabel AG & Co., 30179 Hannover, DE

㉓ Erfinder:  
Rohner, Peter, Dr.rer.nat., 30916 Isernhagen, DE;  
Schippl, Klausdieter, Dipl.-Ing., 30659 Hannover, DE

⑤④ Verfahren zum Kühlen eines coaxialen Rohrsystems

⑤⑦ Bei einem Verfahren zum Kühlen eines coaxialen Rohrsystems aus mindestens zwei coaxialen im Abstand zueinander angeordneten Rohren, insbesondere eines supraleitenden Hochfrequenzkabels, welches in einer thermisch gut isolierenden Hülle angeordnet ist, wird durch das Innenrohr ein Flüssiggas hindurchgeleitet. Der endseitig abgeschottete Rinspalt zwischen dem Innenrohr und dem ihn umgebenden Rohr ist mit einem Gas oder Gasgemisch gefüllt, dessen Kondensationstemperatur dem Siedepunkt des in dem Innenrohr strömenden Flüssiggases entspricht, vorzugsweise höher liegt, so daß das Gas bzw. ein Gas des Gasgemisches an dem Innenrohr kondensiert, und das herabtropfende Kondensat das Außenrohr abkühlt.

DE 195 01 332 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Kühlen eines koaxialen Rohrsystems nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Aus der älteren Patentanmeldung P 44 18 483.2 ist ein Hochfrequenzkabel zur Übertragung von Hochfrequenz-Energie zwischen einem Hochfrequenzerreger und einer Sendeantenne bekannt, welches aus einem rohrförmigen Innenleiter, einem konzentrisch zum Innenrohr angeordneten Außenleiter und einer zwischen den beiden Leitern befindlichen Abstandshalterung besteht. Der Innenleiter ist zumindest teilweise mit einem supraleitfähigem Material beschichtet, dessen Sprungtemperatur über 77 K liegt. Zur Aufrechterhaltung des supraleitenden Zustandes wird durch den Innenleiter ständig ein flüssiges Gas z. B. flüssigstickstoff geleitet.

Über dem Außenleiter ist eine thermische Isolierung angebracht, welche das HF-Kabel gegen Kälteverluste schützen soll. Die thermische Isolierung besteht aus einer sogenannten Superisolierung, die in dem Ringspalt zwischen dem Außenleiter und einem äußeren metallischen Rohr angeordnet ist. Der Ringspalt ist zwecks Verbesserung des thermischen Isoliereffektes evakuiert.

Bei dieser Anordnung besteht ein Temperaturgefälle von außen nach innen, wobei das Außenrohr bzw. ein auf dem Außenrohr befindlicher Kunststoffmantel die Umgebungstemperatur annimmt und der Innenleiter die Temperatur des flüssigen Stickstoffs annimmt. Die Temperatur des Außenleiters liegt zwischen diesen Temperaturen.

Bei der Kühlung eines solchen Rohrsystems ist die Temperatur des Außenleiters im wesentlichen abhängig von der Qualität der thermischen Isolierung, die ihn umgibt.

Die Verluste des Hochfrequenzkabels hängen entscheidend ab von der Temperatur des Außenleiters.

Der vorliegenden Erfindung liegt von daher die Aufgabe zugrunde, die Kühlung für ein koaxiales Rohrsystem der eingangs erwähnten Art so auszubilden, daß sowohl das Innenrohr als auch das das Innenrohr umgebende Rohr auf einer Temperatur gehalten wird, welche der Temperatur des verwendeten Kühlmittels entspricht bzw. nur geringfügig darüber liegt.

Diese Aufgabe wird durch die im Kennzeichen des Anspruchs 1 erfaßte Merkmal gelöst.

Der wesentliche Vorteil der Erfindung besteht darin, daß das Innenrohr die Temperatur des verwendeten flüssigen Gases annimmt. Der Anschluß der flüssiggaszuführungsleitung an ein Rohr läßt sich wesentlich leichter durchführen als z. B. der Anschluß an einen Ringspalt. Durch die Abschottung des Ringspaltes und die Füllung desselben mit einem geeigneten Gas bzw. einem geeigneten Gasgemisch führt dazu, daß ständig das Gas an der Oberfläche des Innenrohres kondensiert und von dort auf das das Innenrohr umgebende Rohr abtropft. Dort verdampft das Kondensat, solange die Temperatur des Rohres höher liegt als der Siedepunkt des Kondensats. Innerhalb sehr kurzer Zeit nach Inbetriebnahme, d. h. nach dem Durchströmen des flüssigen Gases durch das Innenrohr nimmt auch das das Innenrohr umgebende Rohr nahezu die gleiche Temperatur an wie das Innenrohr. Es erfolgt also ständig ein Wärmetausch zwischen den beiden Rohren nach dem sog. Wärmesiphon- oder Wärmerohrprinzip.

Die sich aus der Kühlung des das Innenrohr umgebenden Rohres ergebenden Vorteile bestehen darin, daß bei Verwendung eines solchen Rohrsystems als ko-

axiale Hochfrequenzleitung die elektrische Leitfähigkeit des Außenleiters wesentlich erhöht und damit die Verluste am Außenleiter verringert werden. Der Widerstand von z. B. Kupfer liegt bei einer Temperatur von 77 K bei ca. 20% des Widerstandes bei 273 K. Der größte Vorteil wird jedoch dann erzielt, wenn der Außenleiter eine Beschichtung aufweist, die bei der Temperatur des flüssigen Gases bzw. etwas darüber supraleitend wird, d. h. keinen elektrischen Widerstand mehr aufweist.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen erfaßt.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung soll anhand der Fig. 1 und 2 erläutert werden.

Fig. 1 zeigt einen seitlichen Schnitt durch ein koaxiales Hochfrequenzkabel.

Fig. 2 einen Schnitt durch ein solches Kabel.

Das in Fig. 1 dargestellte Hochfrequenzkabel besteht aus dem rohrförmigen Innenleiter 1 und dem mittels einer Abstandshalterwendel 2 in koaxialer Anordnung zum Innenleiter 1 gehaltenen Außenleiter 3. Solche koaxialen Hochfrequenzkabel werden als Verbindungsleitungen zwischen einem Sender und einer Sendeantenne verwendet, wobei sich ein Kabel bewährt hat, welches unter dem Handelsnamen "Flexwell" erhältlich ist und aus gewellten Kupferrohren mit einer materialarmen Abstandshalterwendel besteht.

Um die Verluste des Kabels durch Widerstandserwärmung zu verringern, befindet sich auf der äußeren Oberfläche des Innenleiters 1 eine nicht näher bezeichnete dünne Schicht aus einem supraleitfähigen keramischen Material, welches beispielsweise die Elemente Yttrium, Barium, Kupfer und Sauerstoff enthält. Dieser keramische Stoff geht bereits bei einer Temperatur, die über der des siedenden Stickstoffs liegt, in den supraleitfähigen Zustand über. Wegen der gegenüber den bisher bekannten supraleitenden Werkstoffen hohen Sprungtemperatur werden diese Stoffe mit HTSL bezeichnet (Hoch-Temperatur-Supra-Leiter). Diese haben den Vorteil, daß sie mit flüssigem Stickstoff gekühlt werden können. Zweckmäßigerweise trägt auch der Außenleiter 3 eine solche nicht dargestellte supraleitfähige keramische Beschichtung.

Um die Leiter 1 und 3 auf eine Temperatur unter die kritische Temperatur  $T_c$  zu bringen, wird der Innenleiter 1 mit einem nicht dargestellten flüssiggestank verbunden und z. B. flüssiger Stickstoff durch den Innenleiter 1 geleitet.

Der Ringspalt 4 zwischen dem Innenleiter 1 und dem Außenleiter 3 wird an beiden Enden, wie bei 5 und 6 dargestellt, abgeschottet, d. h. gasdicht verschlossen, über ein nicht dargestelltes Ventil evakuiert und anschließend mit gasförmigem Stickstoff mit einem Überdruck von einigen bar gefüllt.

Wenn nun flüssiger Stickstoff durch den Innenleiter 1 geführt wird und die äußere Oberfläche des Innenleiters 1 sich auf die Temperatur des flüssigen Stickstoffs abgekühlt hat, kondensiert der in dem Ringspalt 4 befindliche Stickstoff an der kalten Oberfläche des Innenleiters 1 und tropft auf den Außenleiter 3 herab. An der Oberfläche des Außenleiters 3 wird das Kondensat wieder verdampft, solange die Temperatur des Außenleiters 3 über der Siedetemperatur des in dem Ringspalt unter Überdruck befindlichen Stickstoffs liegt. Der Außenleiter 3 besteht zweckmäßigerweise aus Kupfer. Dadurch wird erreicht, daß sehr schnell ein Temperatenausgleich über den gesamten Umfang des Außenleiters 3 erfolgt, d. h. der den Auftreffpunkt des Kondensats umfänglich gegenüberliegende Punkt des Außenleiters 3 kühlt sich

sehr schnell auf die Temperatur des flüssigen Stickstoff bzw. einige wenige Grade darüber ab.

Durch diese Thermosyphonkühlung erfolgt also auf einfache Weise ein ständiger Wärmetausch zwischen Innenleiter 1 und Außenleiter 3, solange zwischen dem Innenleiter 1 und dem Außenleiter ein Temperaturgefälle vorhanden ist. Hieraus ergeben sich einige gravierende Vorteile. Wegen der wesentlich verringerten Verluste kann bei gleicher übertragener Leistung ein kleinerer Durchmesser für das Kabel (Materialersparnis) verwendet werden, oder aber bei gleicher Abmessung kann eine höhere HF-Leistung übertragen werden. Die überbrückbare Länge kann in beiden Fällen erheblich vergrößert werden.

Der für die Gewinnung und den Transport des flüssigen Stickstoffs erforderliche Aufwand an Primärenergie ist gegenüber der Ersparnis an Hochfrequenzenergie vernachlässigbar.

Um das gekühlte Hochfrequenzkabel vor dem Wärmeeinfall von außen zu schützen, ist es von einer wärmeisolierenden Hülle umgeben. Diese kann direkt auf dem Außenleiter 3 aufsitzen oder von einem sogenannten "Cryogenic envelope" gebildet werden, einer insbesondere für kryogene Anwendung entwickelten Umhüllung. Letztere besteht aus zwei konzentrischen vorzugsweise gewellten Rohren 7 und 8 aus Edelstahl, zwischen denen sich eine sogenannte Superisolierung 9 befindet. Die Superisolierung 9 besteht aus einer Vielzahl von konzentrischen Schichten aus metallbedampften Kunststoffolien. Der zwischen den Rohren 7 und 8 befindliche Ringspalt ist, wie an sich bekannt, evakuiert. Ein Abstandshalter 10 zwischen dem coaxialen HF-Kabel und der kryogenen Hülle sorgt für einen gleichmäßigen Abstand. Die Verwendung von Edelstahl für die Rohre 7 und 8 wird deshalb bevorzugt, weil sich Edelstahl für die Vakuumtechnik besser eignet als z. B. Kupfer oder normaler Stahl wegen der geringeren thermischen Leitfähigkeit, und Erfahrungen mit solchen Rohrsystemen vorhanden sind.

Als Außenmantel dient ein Kunststoffmantel 11, der auf das äußere Rohr 8 aufextrudiert wird. Alle Rohre 1, 3, 7 und 8 sind vorteilhafterweise gewellt, wodurch sich ein trommelbares Rohrsystem ergibt. Darüberhinaus werden thermisch bedingte Längenänderungen von der Wellung kompensiert. Das in den Figuren dargestellte Rohrsystem läßt sich relativ einfach herstellen, indem zunächst aus einem längseinlaufenden Metallband ein Rohr mit Längsschlitz hergestellt, der Längsschlitz verschweißt, und das geschweißte Rohr gewellt wird. Nach der gleichen Technik werden die weiteren Rohre hergestellt, wobei jeweils um das innere Rohrsystem — in der ersten Stufe das Innenrohr — ein Metallband zu einem größeren Rohr geformt, längsnahtgeschweißt und gewellt wird. Auf diese Weise kann das dargestellte Rohrsystem aus vier konzentrischen Wellrohren gefertigt werden.

Möglich ist es auch, das aus dem Innenleiter 1 und dem Außenleiter 3 bestehende Hochfrequenzkabel in ein aus den Rohren 7 und 8 und der Superisolierung 9 bestehendes Rohrsystem einzuziehen oder einzudrücken.

Die Erfindung beschränkt sich nicht auf das in den Fig. 1 und 2 dargestellte Ausführungsbeispiel.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung könnte darin bestehen, daß direkt auf den Außenleiter 3 die metallbedampften Kunststoffolien aufgewickelt werden und anschließend das Außenrohr 8 aufgebracht wird. Hierbei entfallen das Rohr 7 und der Ringspalt zwischen dem

Außenleiter 3 und dem Rohr 7. Dadurch wird das Rohrsystem im Durchmesser erheblich geringer. Dieses führt neben einer erheblichen Kostenersparnis zu wesentlich größeren transportablen Längen. Auch bei dieser Ausführungsform ist der zwischen dem Außenleiter 3 und dem Außenrohr 8 befindliche Spalt evakuiert um die Isolierwirkung zu verbessern.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Kühlen eines coaxialen Rohrsystems aus mindestens zwei coaxialen im Abstand zueinander angeordneten Rohren, insbesondere eines supraleitenden Hochfrequenzkabels, welches in einer thermisch gut isolierenden Hülle angeordnet ist, dadurch gekennzeichnet, daß durch das Innenrohr ein Flüssiggas hindurchgeleitet wird, und daß der endseitig abgeschottete Ringspalt zwischen dem Innenrohr und dem ihm umgebenden Rohr mit einem Gas oder Gasgemisch gefüllt ist, dessen Kondensationstemperatur dem Siedepunkt des in dem Innenrohr strömenden Flüssiggases entspricht vorzugsweise höher liegt, so daß das Gas bzw. ein Gas des Gasgemisches an dem Innenrohr kondensiert, und das herabtropfende Kondensat das Außenrohr abkühlt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß im Innenrohr flüssiger Stickstoff strömt und im Ringspalt Stickstoffgas oder Argongas oder ein Gemisch aus beiden unter Überdruck befindlich ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das coaxiale Rohrsystem ein coaxiales Hochfrequenzkabel ist, bei welchem der Innenleiter (Innenrohr) an seiner äußeren Oberfläche mit einer supraleitfähigen Keramik beschichtet ist.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Außenleiter (Außenrohr) an seiner inneren Oberfläche mit einer supraleitfähigen Keramik beschichtet ist.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest das das Innenrohr umgebende Rohr aus Kupfer besteht.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das coaxiale Rohrsystem in horizontaler Richtung oder leicht geneigt verlegt ist.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die wärmeisolierende Hülle aus einer Lage Superisolierung und einem äußeren Metallrohr besteht und der Raum zwischen dem coaxialen Rohrsystem und dem Metallrohr evakuiert ist.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß sowohl das coaxiale Rohrsystem als auch das äußere Metallrohr aus längsnahtgeschweißten und gewellten Metallrohren gebildet werden.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die wärmeisolierende Hülle aus zwei konzentrischen beabstandeten Rohren besteht, deren Ringspalt mit einer Superisolierung gefüllt und evakuiert ist.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß in dem Ringspalt zwischen Innenleiter und Außenleiter Luft als Dielektrikum vorherrscht und Innen- und Außenleiter durch eine materialarme Abstandshalterwendel im

Abstand zueinander gehalten werden.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

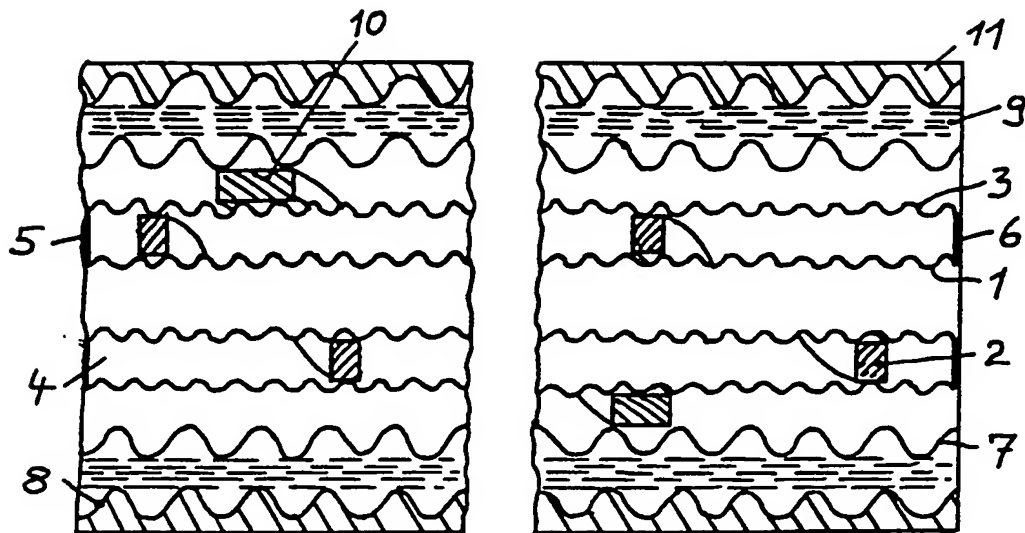


Fig 1

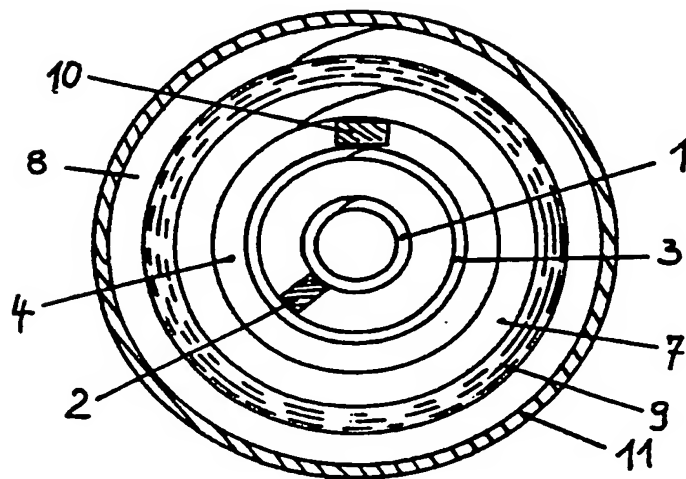


Fig 2